

10/521 05

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Januar 2004 (29.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/010076 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01B 11/25,
G06K 9/20

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002410

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Juli 2003 (17.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 32 690.8 18. Juli 2002 (18.07.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RUMMEL, Peter
[DE/DE]; Miesbacher Strasse 94, 83703 Gmund (DE).
HOFFMANN, Christian [DE/DE]; Tegelbergstrasse 8,
81545 München (DE). FORSTER, Frank [DE/DE];
Maistrasse 48, 80377 München (DE).

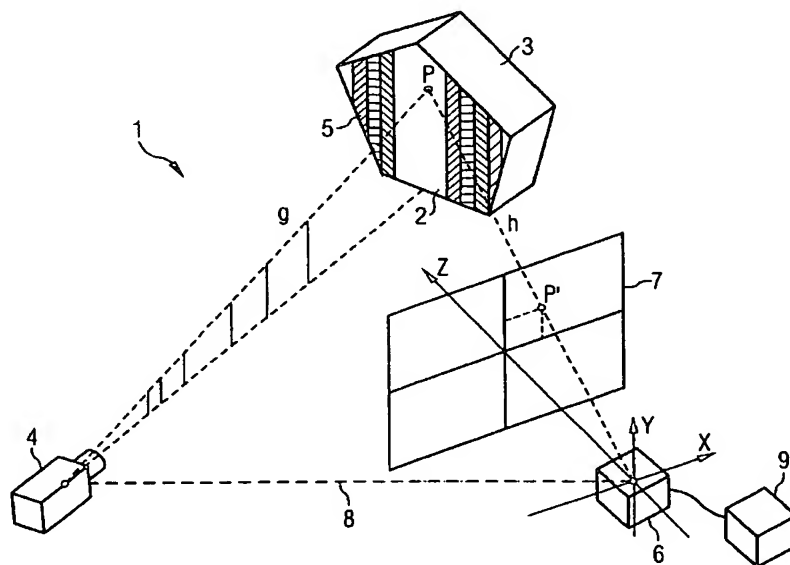
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THREE-DimensionALLY DETECTING OBJECTS AND THE USE OF THIS DE-
VICE AND METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DREIDIMENSIONALEN ERFASSUNG VON OBJEKTEN SO-
WIE VERWENDUNG DER VORRICHTUNG UND DES VERFAHRENS



(57) Abstract: In order to determine three-dimensional coordinates of a surface (2) of an object (3) to be detected, the changes in color of a color pattern (5), which is projected by a projector (4) onto the surface (2), are to be encoded by using a redundant code. An analyzing method, which analyzes the changes in color occurring in an image (7) recorded by a camera (6), is insensitive to changes on the surface (2). In addition, the contour of the object (3) can be determined with a single recording. The method is thereby also suited for moving objects.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/010076 A1



SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Zur Bestimmung der dreidimensionalen Koordinaten einer Oberfläche (2) eines zu erfassenden Objekts (3) wird vorgeschlagen, die Farbänderungen eines Farbmusters (5), das von einem Projektor (4) auf die Oberfläche (2) projiziert wird, mit Hilfe eines redundanten Codes zu codieren. Ein Auswerteverfahren, das auftretenden Farbänderungen in einem von einer Kamera (6) aufgenommenen Abbild (7) analysiert, ist unempfindlich gegen Änderungen auf der Oberfläche (2). Ausserdem kann mit einer einzigen Aufnahme die Kontur des Objekts (3) bestimmt werden. Das Verfahren eignet sich daher auch für bewegte Objekte.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur dreidimensionalen Erfassung von
Objekten sowie Verwendung der Vorrichtung und des Verfahrens

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dreidimensionalen
Erfassung von Objekten, bei dem

- auf das zu erfassende Objekt ein Farbmuster mit bekannten
Projektionsdaten projiziert wird,
- 10 - das auf das zu erfassende Objekt projizierte Muster mit
Hilfe einer Kamera erfasst wird und
- das von der Kamera erzeugte Abbild in einer Auswerteeinheit
zu dreidimensionalen Objektkoordinaten verarbeitet wird.

- 15 Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Ausführung
des Verfahrens und eine Verwendung der Vorrichtung und des
Verfahrens.

- Verfahren zur dreidimensionalen Erfassung von Objekten werden
- 20 für verschiedene Anwendungszwecke, unter anderem auch zur
Identifizierung und Authentifizierung von Personen benötigt.
So ist es beispielsweise aus der DE 199 63 333 A1 bekannt,
ein zweidimensionales Farbmuster aus farbigen Musterelementen
auf ein zu erfassendes Objekt zu projizieren und das auf den
- 25 zu erfassenden Gegenstand projizierte Farbmuster mit Hilfe
einer Kamera zu erfassen. Aufgrund der räumlichen Beschaffen-
heit der Oberfläche des zu erfassenden Objekts sind die Farb-
muster in dem von der Kamera erfassten Abbild gegenüber der
ursprünglichen Anordnung verschoben, so dass bei bekannter
- 30 Position des Projektors und der Kamera die dreidimensionalen
Daten eines Objektpunktes auf der Oberfläche des zu erfassen-
den Objekts berechnet werden können.

- Das bekannte Verfahren ist allerdings nicht für farbige Sze-
nen geeignet. Bei dem bekannten Verfahren ist es vielmehr nö-
35 tig, ein Referenzbild mit gleichmäßig weißer Objektbeleuch-
tung aufzunehmen. Dieses Referenzbild erlaubt die Bestimmung

der projizierten Farben im Musterbild. Da bei dem bekannten Verfahren wenigstens zwei Aufnahmen erforderlich sind, eignet es sich nur eingeschränkt für sich bewegende oder verformende Objekte. Daher ist dieses bekannte Verfahren nur eingeschränkt für die Erkennung einer Hand oder eines Gesichts geeignet.

Aus der Veröffentlichung P. Vuylsteke und A. Oosterlinck, "Range Image Acquisition with a Single Binary-Encoded Light Pattern", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Band 12, Nr. 2, Februar 1990 ist bekannt, auf das zu erfassende Objekt ein schwarz-weißes, zweidimensionales Muster mit zusätzlicher Codierung zu projizieren. Dabei wird versucht, den Projektionswinkel für jeden Punkt des Kamerabilds aus der Bildumgebung des Punktes zu ermitteln. Insbesondere wird versucht, aus den Verzerrungen der projizierten Muster, die durch die räumliche Ausrichtung der Objektfläche aus der Sicht der Kamera entstehen, den Projektionswinkel des jeweiligen Punktes zu berechnen. Dies gelingt jedoch nur bei Objekten mit stetig verlaufender Oberfläche gut. Wenn jedoch am zu erfassenden Objekt Tiefensprünge vorhanden sind, werden die codierenden Musterelemente der Bildpunktumgebung gestört, was zu nicht bestimmbareren oder falschen Projektionswinkeln und im Ergebnis zu falschen dreidimensionalen Objektkoordinaten führt.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur dreidimensionalen Erfassung von Objekten anzugeben, das weder durch die Färbung noch durch Tiefensprünge des zu erfassenden Objektes beeinträchtigt wird.

Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch ein Verfahren und eine Vorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. In

davon abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung angegeben.

- Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung werden die Projektions-
- 5 koordinaten im Farbmuster mit Hilfe eines redundanten Codes codiert. Die Verwendung eines Farbmusters zur Codierung bietet den Vorteil, dass die Codierung derart kompakt ausgeführt werden kann, dass eine Beschädigung des Codes durch Tiefen-
- 10 sprünge oder Verdeckungen insbesondere bei der Gesichtserkennung unwahrscheinlich ist. Darüber hinaus ist die Codierung robust gegen Fehler, da mit Hilfe der redundanten Codierung durch die Färbung des Objektes hervorgerufene Farbverfälschungen im Abbild detektiert und eliminiert werden können.
- 15 Eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung weist daher einen Projektor auf, der ein redundant codiertes Farbmuster auf das zu erfassende Objekt projiziert.

- Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens sind die
- 20 Farbwerte des Farbmusters in Codewörter unterteilt. Die Codewörter weisen dabei vorzugsweise eine nicht-triviale Hamming-Distanz auf. Unter einer nichttrivialen Hamming-Distanz soll dabei eine Hamming-Distanz größer 1 verstanden werden. Mit dieser Form der Codierung wurden gute Ergebnisse bei der Er-
- 25 kennung der codierten Projektionsdaten erzielt.

Die Robustheit der Codierung kann ferner dadurch erhöht werden, dass die Codewörter überlappen.

- 30 Weitere Maßnahmen betreffen die Farbänderungen in den einzelnen Kanälen. Die Erkennungsgenauigkeit kann beispielsweise dadurch gesteigert werden, dass die Farbwerte in jedem Farbkanal nur jeweils zwei vorherbestimmte Farbwerte annehmen können. Zweckmäßigerweise erfolgt die Farbänderung in jedem
- 35 Farbkanal zwischen einem minimal möglichen Wert und einem weiteren maximal möglichen Wert.

Weiter kann gefordert werden, dass Färbänderungen in mindestens zwei Farbkanälen gleichzeitig erfolgen müssen.

5 Durch diese beiden Maßnahmen können Störungen eliminiert werden, die auf Änderungen der Färbung des zu erfassenden Objekts zurückgehen.

10 Eine weitere sinnvolle Forderung an das Farbmuster betrifft die Anzahl der Färbänderungen in jedem Codewort. Wenn in jedem Codewort in jedem der Farbkanäle wenigstens eine Färbänderung stattfindet, können sich Erkennungsfehler nicht über mehrere Codewörter hinaus fortpflanzen.

15 Weiter verbessern lässt sich die Erkennungsgenauigkeit ferner, indem auch die Färbänderungen zu Codewörtern eines redundant codierten Codes zusammengefasst werden. Durch diese Forderungen an die Codierung des Farbmusters lassen sich Fehler bei der Decodierung zuverlässig detektieren.

20 Die Decodierung erfolgt dabei, indem in der Auswerteeinheit die Wendepunkte des detektierten Messsignals durch eine Bestimmung der Maxima der ersten Ableitung detektiert werden. Die so detektierten Wendepunkte, die potentiellen Färbänderungen zugeordnet werden können, werden anschließend auf die
25 Kriterien überprüft, die die Codierung des Farbcodes erfüllt. Unter anderem werden dabei die Größe der Färbänderung und die Korrelation der Färbänderungen zwischen den Kanälen überprüft. Ein weiteres Kriterium ist zum Beispiel, dass die Wendepunkte mit positiver und negativer Steigung jeweils paarweise auftreten müssen und dass die Färbänderungen den Code-
30 wörtern der Färbänderungen entsprechen müssen.

Schließlich werden die Färbänderungen auf die Übereinstimmung mit den codierten Codewörtern der Färbänderung geprüft und
35 die einem Punkt des erfassten Abbilds zugeordneten Projektionsdaten bestimmt. Aus den Projektionsdaten und den Koordinaten des jeweiligen Punkts in dem von der Kamera erfassten Ab-

bild können dann die dreidimensionalen Objektkoordinaten der Oberfläche des zu erfassenden Objekts berechnet werden.

Nachfolgend wird die Erfindung im Einzelnen anhand der beige-
5 fügten Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Ansicht einer Vorrichtung für die dreidimensionale Erfassung von Objektdaten;

10

Figur 2a bis c Diagramme, die die Datenreduktion veranschaulichen; und

Figur 3a und b Darstellungen von rekonstruierten Profil-
15 ~~linien eines erfassten Objekts.~~

In Figur 1 ist eine Vorrichtung 1 dargestellt, die dazu dient, die dreidimensionalen Objektkoordinaten einer Oberfläche 2 eines zu erfassenden Objekts 3 zu bestimmen.

20

Die Vorrichtung 1 weist einen Projektor 4 auf, der ein Farbmuster 5 auf die Oberfläche 2 des zu erfassenden Objekts 3 projiziert. In dem in Figur 1 dargestellten Fall ist das Farbmuster 5 aus einer Reihe von nebeneinander liegenden
25 Farbstreifen zusammengesetzt. Es ist jedoch auch denkbar, ein zweidimensionales Farbmuster anstelle des in Figur 1 dargestellten eindimensionalen Farbmusters 5 zu verwenden.

30

Bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel kann jedem Punkt P der Oberfläche 2 des Objekts 3 eine Projektionsebene g zugeordnet werden. Durch das Farbmuster 5 sind somit Projektionsdaten codiert. Das auf die Oberfläche 2 des Objekts 3 projizierte Farbmuster 5 wird durch eine Kamera 6 in ein Abbild 7 umgewandelt, in dem der Punkt P auf der Oberfläche 2 in den Punkt P' transformiert wird. Bei bekannter An-
35 ordnung des Projektors 4 und der Kamera 6, insbesondere bei bekannter Länge einer Basisstrecke 8 können durch Triangula-

6

tion die dreidimensionalen Raumkoordinaten des Punktes P auf der Oberfläche 2 berechnet werden. Die dazu erforderliche Datenreduktion und Auswertung wird von einer Auswerteeinheit 9 vorgenommen.

5

Um die Bestimmung der dreidimensionalen Raumkoordinaten des Punktes P auf der Oberfläche 2 aus einem einzelnen Abbild 7 auch dann zu ermöglichen, wenn die Oberfläche 2 des Objekts 3 Tiefensprünge und Verdeckungen aufweist, ist das Farbmuster 5 so konstruiert, dass die Codierung der Projektionsebenen g möglichst robust gegen Fehler ist. Ferner können durch die Codierung Fehler, die auf der Färbung des Objektes beruhen, eliminiert werden.

10

~~15 Bei den in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispielen werden die Farben des Farbmusters 5 durch das RGB-Modell beschrieben. Die Änderungen der Farbwerte des Farbmusters 5 erfolgen durch Änderungen der Farbwerte in den einzelnen Farbkanälen R, G und B.~~

20

Das Farbmuster soll dann folgenden Bedingungen genügen:

25

30

35

- In jedem Farbkanal werden lediglich zwei Farbwerte verwendet. Insbesondere wird in jedem Farbkanal jeweils der Minimalwert und der Maximalwert verwendet, so dass im RGB-Modell insgesamt acht Farben zur Verfügung stehen.
- Innerhalb eines Codeworts weist jeder Farbkanal wenigstens eine Farbänderung auf. Diese Bedingung ermöglicht das Decodieren der einzelnen Codewörter.
- Nebeneinander liegende Farbelemente unterscheiden sich in wenigstens zwei Farbkanälen. Diese Bedingung dient insbesondere dazu, die Fehlertoleranz insbesondere gegen Tiefensprünge zu gewährleisten.

- Die einzelnen Codewörter des Farbmusters 5 weisen eine nicht-triviale Hamming-Distanz auf. Auch diese Bedingung dient dazu, die Fehlertoleranz beim Decodieren der Projektionsebenen g zu erhöhen.

5

- Auch die Farbbänderungen werden zu Codewörtern mit einer nicht-trivialen Hamming-Distanz zusammengefasst.

Nachfolgend sei ein Beispiel für das Farbmuster 5 genannt, das den oben genannten fünf Bedingungen genügt. Dieses Farbmuster 5 bezieht sich auf das RGB-Modell mit einem roten Farbkanal R, einem grünen Farbkanal G und einem blauen Farbkanal B. Da Farbwerte in jedem Farbkanal nur jeweils den Minimalwert und Maximalwert annehmen dürfen, stehen insgesamt acht Mischfarben zur Verfügung, denen jeweils die folgenden Zahlen zugeordnet werden:

| | | |
|----|---------|---|
| | Schwarz | 0 |
| | Blau | 1 |
| 20 | Grün | 2 |
| | Cyan | 3 |
| | Rot | 4 |
| | Magenta | 5 |
| | Gelb | 6 |
| 25 | Weiß | 7 |

Für die Codewörter der Farbwerte wurde eine Länge von vier Farbstreifen gewählt, wobei sich benachbarte Codewörter jeweils mit drei Farbstreifen überlappen.

30

Auch den Farbbänderungen wurden Zahlenwerte zugeordnet. Da in jedem der drei Farbkanäle der Farbwert gleich bleiben, abfallen oder ansteigen kann, ergeben sich insgesamt 27 verschiedene Farbbänderungen der Mischfarbe, denen jeweils eine Zahl zwischen 0 und 26 zugeordnet wurde. Die Länge der den Farbbänderungen zugeordneten Codewörtern wurde gleich drei Farbbänderungen

35

rungen gewählt, wobei sich benachbarte Codewörter jeweils mit zwei Farbbänderungen überlappen.

5 Durch einen Suchalgorithmus wurde die folgende Zahlenreihe gefunden, die ein Ausführungsbeispiel des Farbmusters 5 beschreibt, das den oben genannten fünf Bedingungen genügt:

1243070561217414270342127216534171614361605306352717072416305
250747147065035603634743506172524253607

10

In dem angegebenen Ausführungsbeispiel besteht das erste Codewort aus den Ziffern 1243, das zweite Codewort aus den Ziffern 2340 und das dritte Codewort aus den Ziffern 4307. Das gezeigte Ausführungsbeispiel stellt eine sehr robuste Codierung dar.

15

Die Figuren 2a bis c veranschaulichen die Datenreduktion. In Figur 2a ist ein ursprüngliches Farbsignal 10 dargestellt. Durch die Oberfläche 2 des Objekts 3 wird das ursprüngliche Farbsignal 10 zu einem Messsignal 11 verformt. Der Deutlichkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das Farbsignal 10 und das Messsignal 11 in Richtung quer zu den Farbstreifen des in Figur 1 dargestellten Farbmusters 5 dargestellt sind.

20

25 Für die Datenreduktion wird in einem ersten Schritt eine erste Ableitung 12 des Messsignals 11 berechnet. Anschließend werden die Wendepunkte des Messsignals 11 bestimmt, indem Extremwerte 13 der ersten Ableitung 12 berechnet werden. Die genaue Position wird durch unmittelbares Anfitten einer Parabel oder eines kubischen Polynoms an die Umgebung eines Extremwerts der Ableitung 12 berechnet. Die sich daraus ergebenden Extremwerte werden entsprechend ihrer räumlichen Verteilung zu Extremwerten des gemischten Farbensignals zusammengefasst, die sich über mehrere Farbkanäle erstrecken. Die Position der sich über mehrere Farbkanäle erstreckenden Extremwerte wird berechnet, indem ein gewichteter Mittelwert der Position der Extremwerte in den einzelnen Farbkanälen ge-

30

35

bildet wird. Die der Gewichtung dienenden Faktoren werden auf der Grundlage der Qualität der Fitkurve und dem Signal-zu-Rauschen-Verhältnis des Messsignals 11 gebildet. Einzelne Extremwerte, denen kein weiterer Extremwert in einem anderen Farbkanal entspricht, werden im Folgenden ignoriert. Da die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Extremwerts ohne entsprechenden Farbübergang sehr gering ist, ist dies ein wirksames Mittel, um rauschbedingte Verzerrungen zu eliminieren. In Figur 2c kann beispielsweise der irrtümlich detektierte Extremwert 14 eliminiert werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt werden identische Extremwerte zu Profillinien 15 verbunden. Figur 3a zeigt das Ergebnis für den Fall, dass die Extremwerte keiner weiteren Filterung unterzogen werden. Da die Farbbänderungen jedoch mit Hilfe von überlappenden Codewörtern strukturiert sind, die untereinander eine nicht-triviale Hamming-Distanz aufweisen, können auch diejenigen Extremwerte herausgefiltert werden, die auf Farbkanten in der Färbung der Oberfläche 2 beruhen. Das Ergebnis ist in Figur 3b dargestellt. Das hier beschriebene Verfahren ist also durchaus in der Lage, die tatsächlichen Profillinien 15 der Farbbänderungen zu erfassen, die auf Farbbänderungen im Farbmuster 5 beruhen.

Im weiteren Verlauf können den Punkten P des Abbilds 7 über die Farbcodierung die Projektorebenen g zugeordnet werden. Die dreidimensionalen Objektdaten der Oberfläche ergeben sich dann durch eine Triangulation, wenn die Anordnung der Kamera 6 und des Projektors 4 bekannt sind.

Das hier beschriebene Verfahren kann auch dazu verwendet werden, die Färbung des zu erfassenden Objektes 3 zu bestimmen. Der Farbwert eines Punktes P im Abbild 7 kann durch die folgende Formel beschrieben werden:

$$R_c = r_c \cdot \int_{\Delta\lambda} s_c(\lambda) \cdot I_p(\lambda) d\lambda + r_c \cdot \int_{\Delta\lambda} s_c(\lambda) \cdot I_A(\lambda) d\lambda$$

wobei $s_c(\lambda)$ die spektrale Empfindlichkeit eines Sensorelements in der Kamera 6 ergibt, $r_c(\lambda)$ die spektrale Reflektivität der zugehörigen Oberflächen 2, $I_P(\lambda)$ die spektrale Intensität der vom Projektor 4 emittierten Strahlung und $I_a(\lambda)$ die Intensität der Hintergrundbeleuchtung ist. Da $I_P(\lambda)$ für jeden Punkt P nach der Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens bekannt ist, kann unter der Annahme, dass $R_c(\lambda)$ im Wesentlichen gleich einer Konstanten r_c ist, aus dem gemessenen Wert R_c in jedem Farbkanal die Konstante r_c berechnet werden, wenn der Einfluss der Hintergrundbeleuchtung vernachlässigt werden kann. Aus den Reflektivitäten r_c der drei Farbkanäle kann dann auf die Färbung der Oberfläche 2 geschlossen werden. Unter Berücksichtigung benachbarter Werte von r_c ist es schließlich möglich, zumindest den niederfrequenten Anteil der Färbung des Objekts 3 zu erfassen.

Das Verfahren wurde bereits ausgiebig getestet. Zum Einsatz kam ein Farbmuster, bei dem 104 Streifen eine eindeutige Codierung bildeten. Für das projizierte Farbmuster 5 wurden jedoch insgesamt 156 Lichtebenen verwendet, da die Geometrie des Versuchsaufbaus eine teilweise Wiederholung des codierten Musters gestattet.

Für den Projektor 4 wurde sowohl ein einfacher Diaprojektor als auch ein LCD-Projektor verwendet. Ein einfacher Diaprojektor, dessen Optik auf eine große Fokustiefe optimiert ist, ist dabei unter Kostengesichtspunkten die bessere Alternative.

Für die Kamera wurden verschiedene RGB-Kameras mit einer Auflösung von 574 x 768 Pixeln verwendet. Um ein Übersprechen zwischen den einzelnen Farbkanälen möglichst zu unterdrücken, ist eine gute Farbtrennung in der Kamera 6 wesentlich. Für die Auswerteeinheit 9 wurde ein Computer mit einem Pentium IV 2,4 GHz-Prozessor verwendet. Damit ließen sich auch ohne Geschwindigkeitsoptimierung des Programmcodes bis zu 15 Bilder

pro Sekunde aufnehmen und analysieren. Das Verfahren ist daher durchaus für die Erkennung von Gesten geeignet.

Das Verfahren arbeitet zuverlässig, wenn die Variation der Einfärbung der Oberfläche 2 und der Hintergrundbeleuchtung nicht in Frequenz und Amplitude der Farbänderung des Farbmusters 5 entspricht. Dies ist auch aus den Figuren 3a und 3b erkennbar, bei denen die Finger 16 auf einer mehrfarbigen Unterlage 17 aufliegen.

10

Eine Fläche muss mindestens 8 x 8 Pixel in dem Abbild 7 groß sein, damit ihr eine dreidimensionale Koordinate zugeordnet werden kann. Denn zur Auswertung sind wenigstens zwei vollständige Farbstreifen notwendig, wobei ein Farbstreifen in der Kamera 6 wenigstens 3 Pixel breit ist.

15

Da bei der Ausführung des hier beschriebenen Verfahrens eine einzelne Aufnahme der Oberfläche 2 genügt, um dreidimensionale Koordinaten der Oberfläche 2 zu bestimmen, eignet sich das hier beschriebene Verfahren und die hier beschriebene Vorrichtung insbesondere zur Erfassung von sich bewegendem oder verformenden Objekten. Das hier beschriebene Verfahren ist daher insbesondere im Rahmen der Biometrie für die Gesichtserkennung und die Gestenerfassung geeignet. Insofern eignet sich das hier beschriebene Verfahren vor allem für die Identifizierung und Authentifizierung von Personen.

20

25

30

Weitere Anwendungsgebiete betreffen die Qualitätssicherung von Produkten, die Vermessung von Gegenständen in der Konstruktion, zum Beispiel für den Nachbau, für Reparaturen oder die Erweiterung von bestehenden Maschinen oder Anlagen, oder die dreidimensionale Modellierung von Objekten im Multimedia- und Spielbereich.

35

Es sei angemerkt, dass auch andere Farbmodelle, z. B. das YUV-Modell, zur Beschreibung des Farbmusters 5 verwendet werden können.

Außerdem sei angemerkt, dass unter dem Begriff Kamera jedes abbildende System verstanden wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur dreidimensionalen Erfassung von Objekten (3), bei dem
 - 5 - auf das zu erfassende Objekt (3) ein Farbmuster (5) mit bekannten Projektionsdaten projiziert wird,
 - das auf das Objekt (3) projizierte Farbmuster (5) mit einer Kamera (6) erfasst wird, und
 - 10 - das von der Kamera (6) erzeugte Abbild (7) in einer Auswerteeinheit (9) zu dreidimensionalen Objektkoordinaten des Objekts (3) verarbeitet wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Projektionsdaten im Farbmuster (5) mit Hilfe eines redundanten Codes codiert werden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem Farbwerte im Farbmuster (5) mit Hilfe von Codewörtern eines redundanten Codes strukturiert werden und bei dem die Projektionsdaten eines Punktes (P) des Abbilds (7) mit Hilfe
20 einer von der Auswerteeinheit (9) durchgeführten Suche nach den die Farbwerte codierenden Codewörtern identifiziert werden
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
25 bei dem Farbänderungen des Farbmusters (5) mit Hilfe von Codewörtern eines redundanten Codes strukturiert werden und bei dem während der Auswertung in der Auswerteeinheit (9) den Codewörtern entsprechende Farbänderungen als gültige Farbänderungen zugelassen werden.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,
bei dem Codewörter mit einer nicht-trivialen Hamming-Distanz verwendet werden.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
bei dem die Codewörter überlappend angeordnet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Farbwerte in jeden Farbkanal zwischen zwei Werten variiert werden.

5 7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Farbwerte in jedem Farbkanal zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert variiert werden.

10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Farbwerte in wenigstens zwei Kanälen zusammen geändert werden und bei dem in wenigstens zwei Farbkanälen zusammen auftretende Farbänderungen während der Auswertung in der Auswerteeinheit (9) als gültige Farbänderungen zugelassen werden.

15

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem in jedem Farbkanal innerhalb von jedem Codewort mindestens eine Farbänderung durchgeführt wird.

20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem in der Auswerteeinheit (9) die Positionen von Farbänderungen in jedem Farbkanal mit Hilfe von Extremwerten einer ersten Ableitung (12) eines Messsignals (11) bestimmt werden.

25 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem das Farbmuster (5) streifenförmig ausgebildet wird und bei dem während der Auswertung in der Auswerteeinheit (9) einander entsprechende Farbänderungen zu Profillinien (15) verbunden werden.

30

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem eine einzelne Aufnahme des Abbilds (7) zur Bestimmung der dreidimensionalen Koordinaten der Oberfläche (2) des Objekts (3) durchgeführt wird.

35

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem durch Auswertung der im Abbild (7) erfassten Farbe

15

des Farbmusters (5) und der im Farbmuster (5) ursprünglich projizierten Farbe eine Färbung der Oberfläche (2) des Objekts (3) rekonstruiert wird.

- 5 14. Vorrichtung zur dreidimensionalen Erfassung von Objekten mit einem Projektor (4) zur Projektion eines Farbmusters (5) auf eine Oberfläche (2) eines zu erfassenden Objekts (3) und mit einer Kamera (6) zur Aufnahme eines Abbilds (7) des auf die Oberfläche (2) projizierten Farbmusters (5) sowie mit einer Auswerteeinheit (9) zur Auswertung des Abbilds (7),
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das vom Projektor (4) projizierbare Farbmuster (5) und die Auswerteeinheit (9) für die Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet sind.

15

15. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 oder der Vorrichtung nach Anspruch 14 für die Gesichtserkennung von Personen.
- 20 16. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 oder der Vorrichtung nach Anspruch 14 für die Gestenerkennung von Personen.

FIG 1

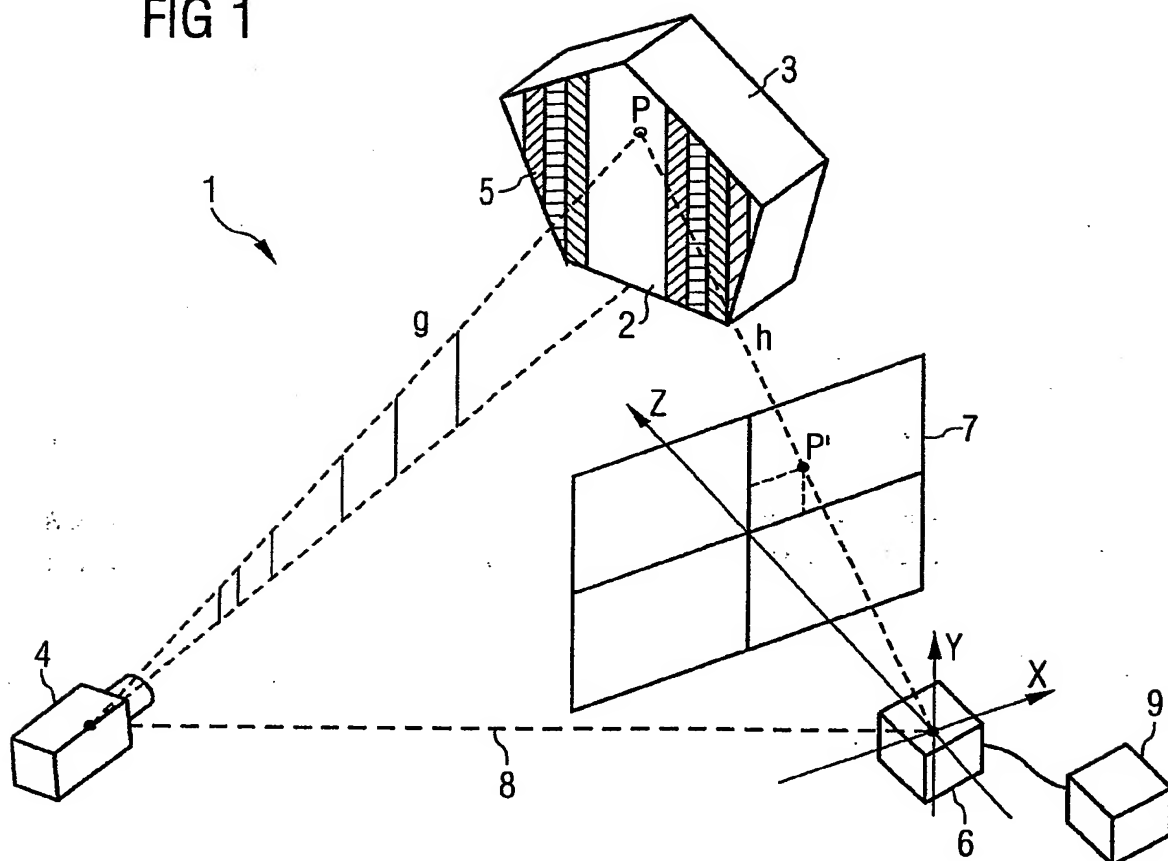


FIG 2A

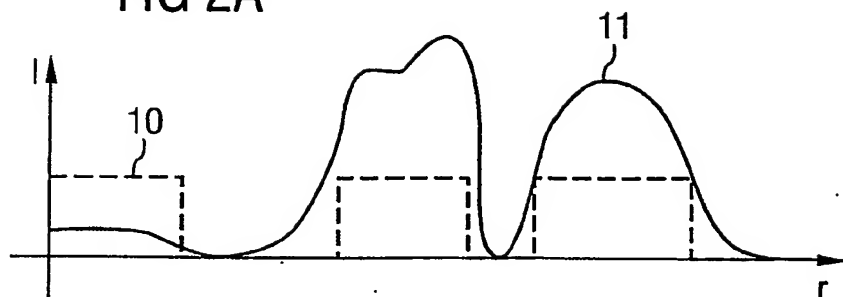


FIG 2B

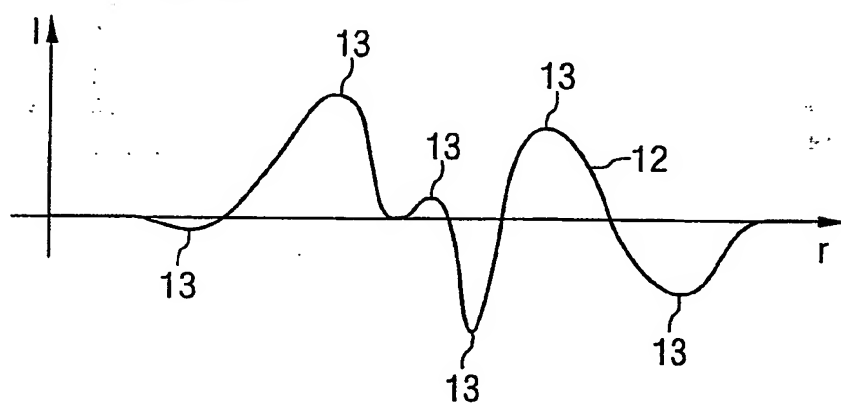


FIG 2C

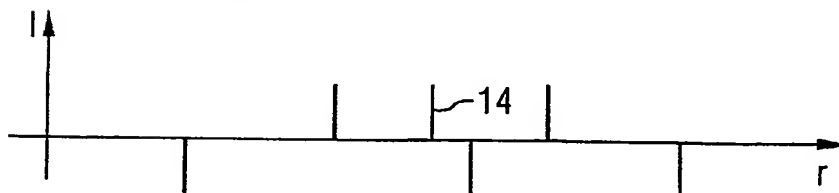
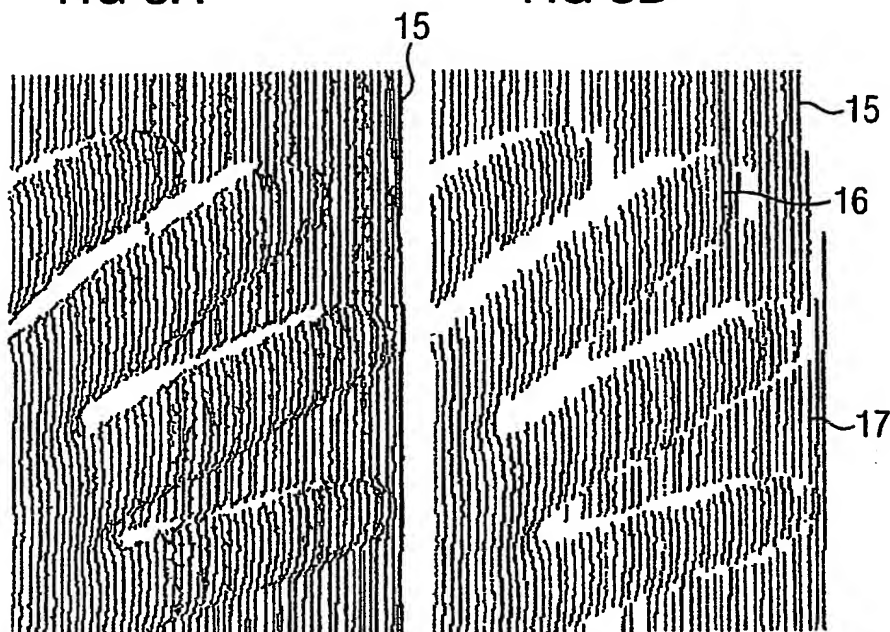


FIG 3A

FIG 3B



A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01B11/25 G06K9/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B G06K G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A | DE 199 63 333 A (SIEMENS AG) 12 July 2001 (2001-07-12) cited in the application claim 1 | 1, 14 |
| A | US 6 341 016 B1 (MALIONE MICHAEL) 22 January 2002 (2002-01-22) abstract | 1, 14 |
| A | GRIFFIN P M ET AL: "GENERATION OF UNIQUELY ENCODED LIGHT PATTERNS FOR RANGE DATA ACQUISITION" PATTERN RECOGNITION, PERGAMON PRESS INC. ELMSFORD, N.Y, US, vol. 25, no. 6, 1 June 1992 (1992-06-01), pages 609-616, XP000290629 ISSN: 0031-3203 the whole document | 1 |
| -/- | | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 November 2003

Date of mailing of the international search report

17/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Buyzer, H

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A | EP 0 328 443 A (VISION 3D S A) 16 August 1989 (1989-08-16) abstract ----- | 15, 16 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/02410

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|-------------------------------------------|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| DE 19963333 | A | 12-07-2001 | DE 19963333 A1 | 12-07-2001 |
| | | | WO 0148438 A1 | 05-07-2001 |
| | | | EP 1242786 A1 | 25-09-2002 |
| | | | JP 2003518614 T | 10-06-2003 |
| | | | US 2003002052 A1 | 02-01-2003 |
| US 6341016 | B1 | 22-01-2002 | NONE | |
| EP 0328443 | A | 16-08-1989 | FR 2627047 A1 | 11-08-1989 |
| | | | AT 84366 T | 15-01-1993 |
| | | | CA 1314619 C | 16-03-1993 |
| | | | DE 68904205 D1 | 18-02-1993 |
| | | | DE 68904205 T2 | 06-05-1993 |
| | | | EP 0328443 A1 | 16-08-1989 |
| | | | ES 2036805 T3 | 01-06-1993 |
| | | | WO 8907750 A1 | 24-08-1989 |
| | | | GR 3006751 T3 | 30-06-1993 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02410

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01B11/25 G06K9/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01B G06K G06T

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A | DE 199 63 333 A (SIEMENS AG) 12. Juli 2001 (2001-07-12) in der Anmeldung erwähnt Anspruch 1 | 1, 14 |
| A | US 6 341 016 B1 (MALIONE MICHAEL) 22. Januar 2002 (2002-01-22) Zusammenfassung | 1, 14 |
| A | GRIFFIN P M ET AL: "GENERATION OF UNIQUELY ENCODED LIGHT PATTERNS FOR RANGE DATA ACQUISITION" PATTERN RECOGNITION, PERGAMON PRESS INC. ELMSFORD, N.Y., US, Bd. 25, Nr. 6, 1. Juni 1992 (1992-06-01), Seiten 609-616, XP000290629 ISSN: 0031-3203 das ganze Dokument | 1 |
| -/- | | |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"™" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. November 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17/11/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Buyzer, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inventar des Aktenzeichens

PCT/DE 03/02410

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A | <p>EP 0 328 443 A (VISION 3D S A) 16. August 1989 (1989-08-16) Zusammenfassung</p> | 15,16 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02410

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 19963333 | A | 12-07-2001 | DE 19963333 A1 | 12-07-2001 |
| | | | WO 0148438 A1 | 05-07-2001 |
| | | | EP 1242786 A1 | 25-09-2002 |
| | | | JP 2003518614 T | 10-06-2003 |
| | | | US 2003002052 A1 | 02-01-2003 |
| US 6341016 | B1 | 22-01-2002 | KEINE | |
| EP 0328443 | A | 16-08-1989 | FR 2627047 A1 | 11-08-1989 |
| | | | AT 84366 T | 15-01-1993 |
| | | | CA 1314619 C | 16-03-1993 |
| | | | DE 68904205 D1 | 18-02-1993 |
| | | | DE 68904205 T2 | 06-05-1993 |
| | | | EP 0328443 A1 | 16-08-1989 |
| | | | ES 2036805 T3 | 01-06-1993 |
| | | | WO 8907750 A1 | 24-08-1989 |
| | | | GR 3006751 T3 | 30-06-1993 |